원 저

대한신경과학회지 17(4):505~513, 1999 ISSN 1225-7044

Foramen Ovale Electrode의 임상적 유용성에 있어서의 새로운 접근

연세대학교 의과대학 신경과학교실

김 옥 준 이 병 인

A New Approach in Clinical Usefulness of Foramen Ovale Electrode in Epilepsy Surgery

Ok-Joon Kim, M.D., Byung-In Lee, M.D.

Department of Neurology, Yonsei University, College of Medicine

Background : Foramen ovale electrode(FOE) was introduced for the lateralizing purposes of mesio-temporal lobe(MTL) seizures which were often not clearly identified by extracranial EEGs. An analysis of interictal and ictal EEG features recorded from FOE was conducted to evaluate its clinical usefulness. **Methods :** A multipolar, three-contact FOE was implanted bilaterally in 16 intractable epileptic patients for the lateralizing purposes of a MTL onset of seizures due to the evidence of bilateralities recorded from extracranial EEGs. A detailed analysis of the electrical pattern and temporal relationships in 16 patients was conducted. **Results :** After a long-term telemetry recording with FOE, all patients revealed a clear onset of seizures originating from one or both sides of the MTL and underwent ATL. The lateralization of interictal epileptiform discharges (IEDs) in scalp EEG and FOE were concordant with the operation sites in 12 patients and 8 patients respectively. Among various configurations of IEDs recorded from FOE, periodic spikes or sharp waves with/without fast activities were dominant features in the operation site, but polyspikes, isolated spikes or sharp waves, and positive spikes were more common in the non-operation site. Five patients showed ictal onset discharges concordant with the operation site in the scalp EEG, but 10 patients in FOE. Rhythmic fast beta, alpha frequency activity, repetitive spikes or sharp waves prevailed over other FOE seizure onset patterns in the operation site, but delta and theta slowing, positive spikes prevailed in the non-operation site. A “start-stop-start” pattern was 100% concordant with the operation site. The time interval between bilateral FOE recorded ictal onset was 16.53 sec when the ictal discharge started from the operation site and 7.92 sec when started from the non-operation site. The time interval between FOE and scalp EEG ictal onset was 22.82 sec in the operation site and 8.61 sec in the non-operation site. Among various spreading patterns of ictal epileptiform discharge, FOE 颱 contralateral FOE 颱 ipsilateral temporal lobe, or 颱 contralateral temporal lobe was the most common feature(47.71%). No serious complications resulted from implantation of FOE in this series. **Conclusions :** Our results indicated that FOE was very useful in confirming the laterality of MTL. The configurations of IEDs and ictal discharges recorded from FOE were also useful for further determination of lateralization. The “start-stop-start” pattern of ictal discharges was especially a quite reliable marker, which should be cautiously detected during the analysis of ictal events. FOE could also provide useful information about the spreading patterns of ictal discharges.
J Kor Neurol Ass 17(4):505~513, 1999

Key Words : Foramen Ovale Electrode, Configuration, “Start-Stop-Start” Pattern, Laterality, Spreading Pattern

서 론

FOE (foramen ovale electrode)는 1985년에 Wieser가 전측두엽 절제술 환자의 수술전 평가를 위해 처음 사용한 전극으로,[1] 측두엽 내측 하단인 경막하 부위에 삽입하여 내측 측두엽에서 발생하는 간질파를 기록하는 준침습적 (semiinvasive)인 전극으로 분류되며, 두피 뇌파 검사에서 간질 발현 부위의 편측화가 분명하지 못한 환자들에서 시행하게 되는데,[2] 이 방법은 심부 전극 (depth electrode)이나 경막하 전극 (subdural electrode)에

Manuscript received April 9, 1999.
Accepted in final form May 6, 1999.
* Address for correspondence
Byung-In Lee, M.D.
Department of Neurology, Yonsei University
College of Medicine
Shinchon-dong, Seodaemun-ku
C.P.O Box 8044, Seoul, 120-752, Korea
Tel : +82-2-361-5460, Fax : +82-2-393-0705
E-mail : neuro@yumc.yonsei.ac.kr

비하여 두개 수술을 필요로 하지 않고 부작용도 드물게 보고되어 비교적 손쉽게 시행될 수 있는 장점들이 있다.

저자들은 본원 간질 수술 프로그램에서 FOE를 넣고 검사 후 전측두엽 절제술을 시행한 환자들을 대상으로 기록된 뇌파 소견을 후향적으로 검토 분석하여 FOE상 나타나는 간질파의 모양과 간질 발현 부위간의 연관성을 최초로 시도하였으며 아울러 간질파가 전파되는 양상도 알아 보았다.

대상 및 방법

1991년부터 1996년까지 연세대학병원 간질 프로그램에 의해서 전측두엽 절제술을 시행 받았던 환자 중 수술전 검사에서 FOE를 넣었던 환자를 대상으로 하였다. 모든 환자들은 복용중이던 약물을 줄이거나 중단한 상태에서 video-녹화 뇌파 검사를 실시하였으며, 일차로 나비뼈 전극 (sphenoidal electrode)과 전측두엽 전극 (anterior temporal electrode)을 이용한 두피 뇌파 검사를 시행한 후 뇌파 소견 및 임상 양상 (semiology)이 측두엽 간질에 합당하였으나, 발작간 또는 발작시의 뇌파에서 양측 측두엽에서 간질파가 관찰되므로서 측두엽 간질의 편측화가 곤란한 경우이었다. FOE는 3 contact flexible electrode로서 국소마취하에 fluoroscope을 통해 양측 난원공내로 삽입하였으며 시술 후 skull x-ray를 촬영하여 대칭적으로 삽입되어 있음을 확인한 후에 뇌파검사를 실시하였다.

뇌파기록의 판독

두피 뇌파 기록, FOE와 두피 전극을 포함한 뇌파 기록은 2인의 간질 전문의에 의해 판독되었으며, 발작간 뇌파의 분석은 3일 이상 연속적으로 기록된 video-뇌파 기록 중에서 24시간당 1시간씩 발췌하여 분석하였다. 두피 뇌파에서는 발작간 간질양 뇌파를 직접세고 좌우비를 계산하여, 80% 이상 한쪽에서 나타날 때에 편측화 되었다고 판단하였고, FOE에서는 뚜렷한 lateralization여부만 파악하였다. 간질양 뇌파 소견 이외의 국소성 서파나 배경뇌파의 분석은 배제하였다.

두피 발작뇌파의 경우에는 video-뇌파 검사중에서 기록된 모든 발작뇌파를 대상으로 실시하였으나 중첩성 간질 발작 (발작과 발작간의 간격이 30분 이내)이 발생한 경우는 제외하였고, rhythmic activity가 3초 이상 진행되었을 때 이를 발작뇌파로 인정하였다. 발작뇌파의 분류는 Lee등의[3] 방법에 따라 시행하였는데 모든 발작뇌파가 한쪽 측두엽으로 편측화되어 시작되는 경우를 단측 측두엽 간질 (unilateral TLE), 양측 측두엽 모두에서 발작뇌파가 시작되는 경우를 양측 측두엽 간질 (bilateral TLE), 편측화되지 못한 경우를 non-lateralized로 분류하였다.

FOE의 뇌파 기록 분석은 발작간 간질양 뇌파 소견을 1) grouped spikes or sharp waves (3㎐ 이상의 간질양 뇌파) 2) isolated spikes or sharp waves (3㎐ 미만의 간질양 뇌파가 3초 미만으로 지속) 3) periodic spikes or sharp waves (1~3㎐ 미만의 간질양 뇌파가 3초 이상 지속되거나 1㎐ 미만의 간질양 뇌파가 3회 이상 반복되는 경우) 4) periodic spikes or sharp waves with fast activities (3)+fast activities) 5) polyspikes (wave동반 없이 200msec 이상 지속되는 multiple spikes) 6) positive spikes (negative spike를

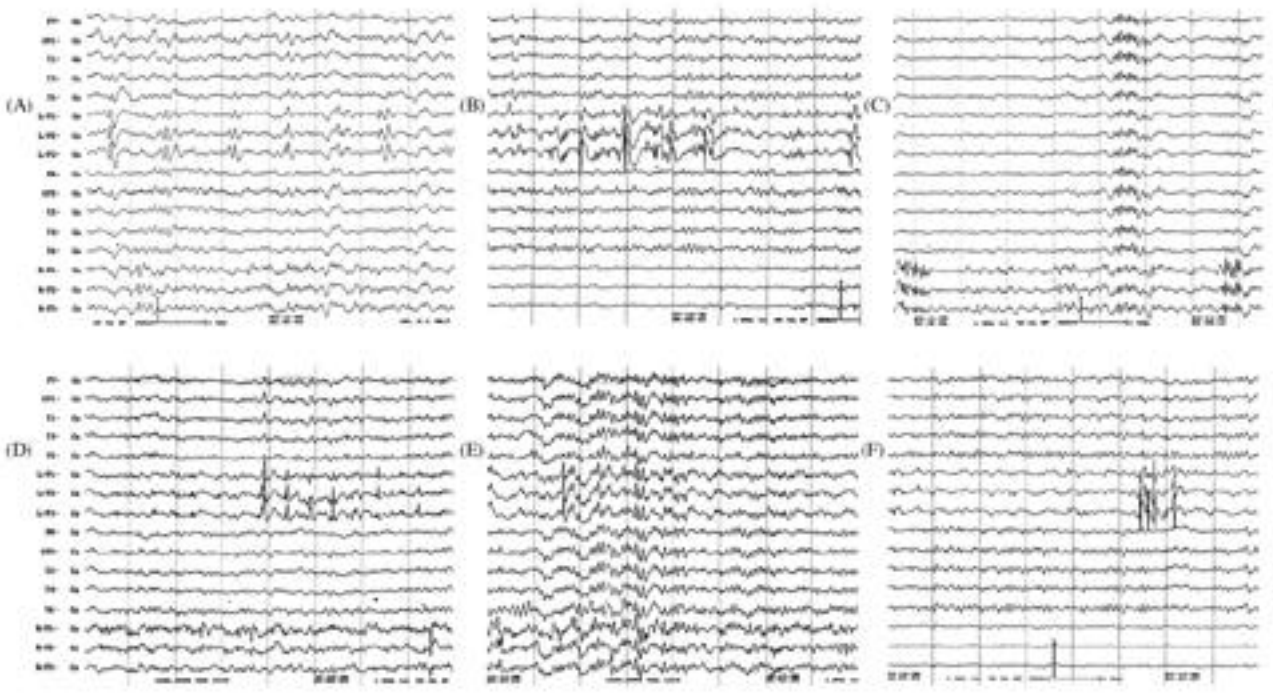

Figure 1. *Configuration of interictal epileptiform discharges expressed in foramen ovale electrode. a) periodic spikes or sharp waves, b) periodic spikes or sharp waves+fast activities, c) polyspikes, d) positive spikes, e) isolated spikes or sharp waves, f) grouped spikes or sharp waves.*

제외한 spikes)로 분류하였다 (Fig. 1). 이러한 분류에 의해서 나타나는 뇌파의 모양이 동일한 빈도로 전체 간질양 뇌파의 80% 이상을 차지할 경우를 major로, 나머지를 minor로 분류하였다.

발작시 FOE 뇌파 기록은 다른 침습적 뇌파 소견에 준하여 판독하였는데 배경뇌파와 뚜렷이 구분되는 rhythmic discharge가 3초 이상 지속되고 이후에 뚜렷한 발작뇌파로 이행하는 경우를 발작뇌파의 시작으로 간주하였다. FOE에서의 발작시 뇌파도 두피 뇌파와 마찬가지로 모든 발작뇌파가 한쪽 측두엽으로 편측화 되어 나타난 경우를 단측 측두엽 간질 (unilateral TLE), 양측 측두엽 모두에서 발작뇌파가 시작되는 경우를 양측 측두엽 간질 (bilateral TLE), 편측화되지 못한 경우를 non-lateralized로 분류하였다. 발작시 뇌파의 모양은 수술 부위와 수술 반대편 부위로 분류한 후 각각에서 선행파 (preceding wave:PW) 및 비선행파 (following wave:FW)간의 차이를 알아 보았다 (Fig. 2). 또한, 발작뇌파가 시작하고 나서 일시적으로 발작뇌파가 소실되었다가 다시 발작뇌파로 이행하는 경

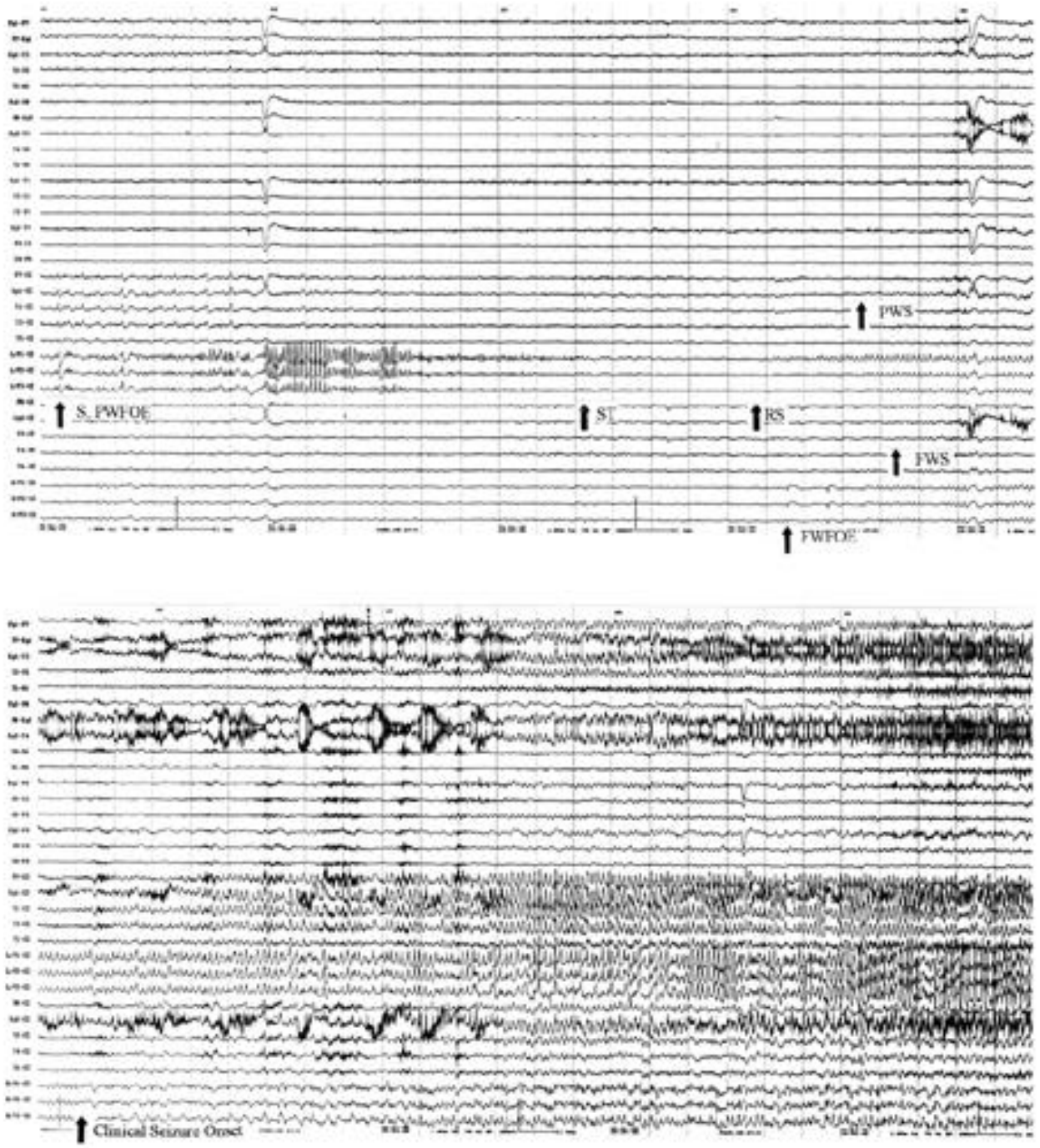

Figure 2. *Complex partial seizure presenting "start-stop-start" pattern in a patient with left temporal lobectomy. S:start; ST: stop; RS: restart, PWFOE: preceding wave in FOE; FWFOE: following wave in FOE; PWS: preceding wave in scalp; FWS: following wave in scalp.*

Table 1. *Lateralization of interictal EEG.*

Case	Scalp interictal		FOE interictal lateralization	Operation site	Surgical outcome*
	Lt	Rt			
1	≥ 90		Rt	Lt	I
2	≥ 90		Lt	Lt	I
3	≥ 90		Lt	Lt	I
4		≥ 90	Rt	Rt	I
5	20	80	Rt	Rt	I
6		≥ 90	Lt	Rt	II
7	50	50	Lt	Rt	I
8		≥ 90	Rt	Rt	II
9		≥ 90	Rt	Rt	I
10	60	40	Lt	Lt	I
11	30	70	Lt	Lt	II
12	20	80	non-lateralized	Lt	I
13		≥ 90	non-lateralized	Rt	II
14	80	20	Lt	Lt	I
15	≥ 90		non-lateralized	Lt	I
16	≥ 90		non-lateralized	Lt	II

* surgical outcome by Engel's classification
FOE : foramen ovale electrode

Table 2. *Configuration of interictal epileptiform discharge in FOE*

Case	Operation site		Opposite site	
	Major	Minor	Major	Minor
1	1,5,6	4	3,4	5
2	2	3,5	3	4
3	1	3	5	3
4	2		3,4	1
5	1	3,4	1,3	4,5
6	5	1	3	5
7	5	4	3	4,5
8	1,6	2,3	3,4,5	
9	1	2,3,4	5	
10	2	3,4	1,5	
11	2	3	5	
12	2	1,3,4	4,5	
13	5		5	4
14	1,4,5		4,5	
15	6	1	3	1,4,5
16	1		1	3

1 : periodic spikes or sharp waves, 2 : periodic spikes or sharp waves+fast activities, 3 : polyspikes, 4 : positive spikes, 5 : isolated spikes or sharp waves, 6 : grouped spikes or sharp waves

우에는 "start-stop-start" pattern으로 따로 분류하여 특징적인 소견을 알아 보았다. 아울러 간질파가 두피 뇌파 및 FO전극에서 처음 나타나는 시간을 분석하여서 간질파가 진행되는 방향 및 시간 간격을 알아 보았다.

모든 결과는 수술 부위와 수술 반대편 부위로 나누어 두 부위간에 차이를 알아보았는데, 이러한 비교는 Table 1의 수술 후 예후에서 알 수 있듯이 모든 환자가 90%이상의 간질 발작의 횟수의 감소가 있었으므로 (Engel's classification Ⅰ & Ⅱ), 적어도 수술 부위에서 나타나는 소견은 일차적 간질 발현 부위의 전형적인 양상으로 파악하는 것이 무리가 없을 것으로 사료되었기 때문이다.

결 과

환자군의 임상 양상

총환자는 16명이었고, 남녀 비는 1:1 이었다. 수술 시 평균 연령은 26.86세였고, 평균 14.19년 동안의 간질 발작의 병력을 가지고 있었다. 간질의 평균 발생 연령은 12.44세였다.

발작간 뇌파 소견.

1) 두피 뇌파 검사

16명중 13명에서 간질양 뇌파를 편측화시킬 수 있었는데, 이중 12명인 92%에서 수술 부위와 일치하는 소견을 보였다 (Table 1).

2) FOE 이용 뇌파 검사

16명중 12명에서 편측화가 가능하였는데 이중 8명이 (67%) 수술 부위와 일치하였고, 4명에서 수술 부위와 일치 하지 않는 소견이 관찰이 되어서 발작간 뇌파에서는 두피 뇌파 소견보다 오히려 일치율이 감소되었다 (Table 1). 발작간 뇌파의 FOE에서 주요하게 관찰되는 뇌파의 모양을 분석하여 보았을 때, 수술 부위에서 가장 흔한 모양은 periodic spikes or sharp waves였으며, 다음이 isolated spikes or sharp waves, periodic spikes or sharp waves with fast activities였으며, 수술 반대편에서 가장 흔히 발견되는 소견으로는polyspikes, isolated spikes or sharp waves, positive spikes순이었다 (Table 2).

Table 3. *Lateralization of ictal onset in scalp EEG without FOE*

Case	Lt	Rt	Non-lateralizing			Total	Laterality	Operation site
			Symmetric	Diffuse->Lt	Diffuse->Rt			
1	2	3				5	BTLE	Lt
2		1	1	1	8	11	UTLE	Lt
3	4		1		4	9	UTLE	Lt
4		6	6	4	11	27	UTLE	Rt
5			7		1	8	N-L	Rt
6	3	1	7	1		12	BTLE	Rt
7			2		1	3	N-L	Rt
8		2	1			3	UTLE	Rt
9	1	1	3		2	7	BTLE	Rt
10	6		2			8	UTLE	Lt
11		1	3	1		5	UTLE	Lt
12			1			1	N-L	Lt
13	1	1	8	1	2	13	BTLE	Rt
14	2			13		15	UTLE	Lt
15			19			19	N-L	Lt
16		6	3		3	12	UTLE	Lt

BTLE:bilateral temporal lobe epilepsy, UTLE:unilateral temporal lobe epilepsy, N-L:non-lateralized

발작시 뇌파 소견.

1) 두피 뇌파 검사

모든 환자가 양측에서 간질파가 시작되는 소견이 관찰되었다. 8명이 단측 측두엽 간질 환자로 분류되었고, 이중 수술 부위와 일치하는 경우는 5명으로 일치율은 총 환자의 31.25% 밖에 되지 않았다. 나머지는 4명이 양측 측두엽 간질, 4명이 nonlateralized로 분류되었다 (Table 3).

2) FOE 이용 뇌파검사

a) FOE의 편측화

10명의 환자에서는 발작뇌파가 모두 수술 동측에서 시작하였으나, 5명의 환자에서는 발작뇌파가 좌우측에서 독립적으로 시작하였고, 1명의 환자에서는 편측화할 수 없었다. 그러나 이들은 모두 neuroimaging (MRI, PET, SPECT)과 Wada test가 편측화된 환자로서 이에 의거하여 수술을 시행하였던 경우였다.

b) FOE에서의 간질파의 파형 모양

발작시 FOE에서 간질파가 시작되는 부위가 수술부위와 일치한 경우가 97예, 수술 반대편 부위가 13예였으며, 양측 FOE에서 동시에 시작되어 편측화할 수 없는 경우가 19예이었다 (Table 4). FOE의 PW와 FW간의 모양은 다음과 같다. 우선 수술 부위의 FOE PW에서는 fast 棘波, repetitive spikes or sharp waves, θ & δslowing, repetitive spikes or sharp waves with fast 棘波 등이 흔히 관찰되었고, FW에서는 θ & δslowing이 두드러지게 많았으며, 다음이 fast 棘波, positive spikes 순으로 나타났으며, FW는 거의 항상 PW보다 frequency가 감소되는 소견이 관찰되었다. 수술 반대편에서의 PW 및 FW에서 θ & δ slowing 이 가장 흔히 관찰되었으며, PW에서는 positive spikes가 FW에서는 repetitive spikes or sharp waves with fast 棘波가 다음으로 흔하였다 (Table 5).

Table 4. *Lateralization of ictal onset in scalp EEG with FOE*

Case	Lt FOE	Rt FOE	Diffuse	Laterality	OP site
1	6	2	2	BTLE	Lt
2	6		3	UTLE	Lt
3	9			UTLE	Lt
4		17		UTLE	Rt
5		7	1	UTLE	Rt
6		6		UTLE	Rt
7	2	7	1	BTLE	Rt
8		4	1	UTLE	Rt
9		1		UTLE	Rt
10	10	3		BTLE	Lt
11	5			UTLE	Lt
12	3		3	UTLE	Lt
13	4	3		BTLE	Rt
14	4			UTLE	Lt
15	9	2	2	BTLE	Lt
16			6	N-L	Lt

BTLE : bilateral temporal lobe epilepsy,
UTLE : unilateral temporal lobe epilepsy,
N-L:non-lateralized

c) "start-stop-start" pattern의 분석

"start-stop-start" pattern은 5명의 환자에서 24예가 관찰되었고, 수술 부위와의 일치율은 100%로서 가장 의미있는 편측화 소견으로 여겨진다. 처음 start때 나타나는 간질파의 모양은 fast 棘波, repetitive spikes or sharp waves with fast 棘波, without fast 棘波의 순이였고, stop후에 동측 FOE에서 다시 시작되는 start 간질파의 모양은 2예만 제외하고 22예에서 θ & δslowing로 나타났다. 또한, stop후에 처음으로 간질파가 감지되는 부위는 동측의 FOE인 경우가 6예, 반대편의 FOE나 두피

Table 5. *Configuration of ictal discharge in FOE.*

	Operation site onset		Opposite site onset		Bilateral onset
	PW	FW	PW	FW	
fast ß	33	12	1	1	8
aß	3	2	3		
a	8	7		1	2
*a*θ	1	3			
θδ	13	58	6	9	2
spike or sharp wave	26	2			3
+spike		10	3		
spike or sharp+fast, *a*	12	1		2	4
spike or sharp+ θ	1	2			

PW:preceding wave, FW:following wave

Table 6. *Characteristics of "start-stop-start" pattern.*

Characteristics	No.(n=24)
ictal configuration of "start"	
fast ß	11
a	1
θ	1
spike or sharp wave	4
spike or sharp+fast, *a*	5
spike or sharp+ θ	2
initiating site after "stop"	
ipsilteral FOE	6
contralateral FOE or scalp	15
bilateral onset	3

에서 선행되는 경우가 15예, 나머지는 양측 FOE 혹은 두 피에서 선행되어 간질파의 선행 여부를 알 수 없는 경우가 3예 였다 (Table 6).

d) 간질파 전파 방식 및 간격

1명의 환자를 제외하고는 모든 환자에서 FOE가 일상 두피 뇌파보다 먼저 간질파를 감지해 냈으며, 가장 흔히 상대측 FOE로 진행되었고, 다음이 동측 측두엽, 반대측 측두엽으로 진행하였다 (Table 7). 이러한 전파의 방식은 간질파의 시작이 수술부위 또는 수술 반대편에서 먼저 관찰되던 간에 큰 차이는 없었으나 수술 반대편에서 시작할 경우에 동측 및 반대측 측두엽으로 동시에 진행되는 횟수가 수술 부위에서 시작될 때보다 많았다. 간질파가 시작되어 감지되는 시간을 부위별로 알아 보았을 때 수술 부위에서 시작될 때와 수술 반대편 부위에서 시작될 때의 FOE 시간 간격이 각각16.53초, 7.92초였으며, FOE의 간질파의 시작이 수술 동측 측두엽에서 나타날 때까지의 시간 간격은 각각 23.18초, 8.92초였으며, FOE와 반대측 측두엽으로 파급될 때까지의 시간 간격은 각각 24.7 및 9.08초로, 전반적으로 수술 반대편에서 시작되는 간질파는 수술 부위에서 시작되는 간질파보다 측두엽 피질로 더 빨리 진행하는 소견을 관찰할 수 있었다 (Table 8).

Table 7. *Spreading pattern of ictal discharge.*

Ictal spreading pattern	Operation site onset	Opposite site onset
FO -> FO -> ipsi/contra S	28	4
FO -> FO -> ipsi S -> contra S	18	2
FO -> all	11	2
FO -> ipsi S -> contra S -> FO	11	
FO -> ipsi S/contra S -> FO	7	1
FO -> ipsi S -> FO/contra S	7	
FO -> ipsi S -> FO -> contra S	5	1
FO -> FO -> contra S-> ipsi S	4	1
FO -> contra S -> ipsi S -> FO	3	
FO -> FO/ipsi S -> contra S	1	1
FO -> FO/contra S -> ipsi S		1
FO -> ipsi S -> FO/contra S	1	
FO/ipsi S->FO/contra S	1	

FO : foramen ovale, ipsi S : ipsilateral scalp,
contra S : contralateral scalp

Table 8. *Time interval between electrodes.*

	Operation site onset (sec)	Opposite site onset (sec)
FOE-FOE	16.53	7.92
FOE-ipsilateral scalp	23.18	8.92
FOE-contralateral scalp	24.37	9.08
FOE-fast scalp	22.82	8.61

고 찰

FOE는 Wieser가 1985년에 처음 도입하였지만, 그 효용가치 때문에 빨리 널리 응용이 되어서 1986년부터 1990년도까지 모든 수술 환자의 5%에서, 특히 전측두엽 절제술 환자의 경우에서는 21%에서 사용되었고,[4,5] 최근까지도 점차 그 이용 빈도가 증가되고 있다.[4,6] 초기에는 간질발현이 의심되는 부위의 동측에 단극성 전극을 사용하였으나, 1987년 이후로는 양측에 다극성 전극을 사용하게 되었다.[7,8] FOE는 3-4개의 contact를 지니고 있어서 전측은 내측 측두엽의 전반부에 후측은 내측 측두엽의 후반부에 근접하게 되므로서, 내측 측두엽을 종적으로 포함하므로써 나비뼈 전극과 두피 뇌파에서 감지 되지 않는 내측 측두엽에 국한되어 발생하는 간질파를 감지한다.[2]

전측두엽 절제술 시에 FOE를 선호하는 이유로는 다음과 같다.[9-12] 첫째, 경막하 전극, 심부전극 등 다른 검사 방법에 비해서 FOE 시술은 비교적 간단하고 안전하며 경제적인 준침습적 검사 방법이다. 둘째, 다른 두개간내 전극에 비해서 시술 후에 특별한 간호가 필요없다. 셋째, FOE는 매우 안정되어서 artifact free 상태의 정보를 제공해 주므로써,[13] 정확한 간질발작 발현 부위에 관한 정보를 제공해 준다. 넷째, 수술 예후에 있어서 FOE 검사로 시행된 전측두엽 절제술과 SEEG에 의해서 시행된 수술과 차이가 없다는 점을 들 수 있다.[2,6,14]

반면에 FOE가 내측 측두엽을 종적으로 포함하기는 하지만 간질파가 편도체 (amygdala)나 간혹 해마에만 국한되어 closed electrical field를 형성하는 경우에는[4] 감지해 내지 못하는[1] 한계점이 있다. 따라서 FOE는 간질 발현 부위가 측두엽으로 의심되는 환자에서 실제로 간질파가 내저 측두엽에서 나오는가?, 좌우 중 어디로 편측화되는가?, 전후 중 어디서 호발하는가 등에 관한 정보들을 주로 제공하며,[4] 내저 측두엽 이외의 부위에서 유래되는 간질파는 놓칠 수 있다. 이러한 실수를 최소화 하기위해서는 FOE소견과 전조 증상 및 임상 양상과의 정확한 비교가 필요하다. 또한 FOE는 단독으로도 사용되지만 다른 침습적 검사와도 같이 사용되기도 한다.[4] 간질 발현 부위가 외측 측두엽 및 비측두엽 환자에서도 stereotactic depth electrode와 함께 사용하여서 간질 발현 부위가 내저 측두엽이 아닌 것을 혹은 secondary pacemaker부위가 아닌 것을 확인 할 수 있다.[3,9] 후자의 경우에 있어서 고식적인 편도해마 절제술을 시행할 수도 있다.[4]

대부분 FOE는 커다란 부작용없이 시행되지만 일부에서는 부작용을 유발시키기도 하는데, 가장 흔한 부작용으로 환자의 9%에서 일시적으로 입 주위의 이상 감각 및 지각 감퇴가 발생하지만 전극을 제거하면 대부분 사라지게 된다.[2,15,16] 2%에서는 감염으로 인한 세균성 수막염, 무균성 수막염이 동반되기도 하였으나 전극을 제거하고 항생제를 사용하면서 완치되었다.[15,16] 1명의 환자에서 지주막하 출혈로 인한 일과성 상방 뇌교 증후군 (transient upper pontine syndrome)이 발생하였으나 부분적으로 회복이 되어 복시만 지속되었다.[1] 또한 FOE를 두차례 시행했던 환자 4명 중 2명에서 뇌간에 병변이 관찰되었는데, 이는 이전의 FOE로 인하여 유발된 경막의 유착으로 인하여 두번째 FOE 시행 시 전극을 잘못 유도하였기 때문이며, 따라서 재검사가 필요할 때에는 FOE 이외에 다른 검사적 방법이 필요하다고 한다.[17] 본 연구에서는 전극을 넣을 당시의 통증은 흔히 있었지만 그에 따른 감각 장애를 포함한 부작용은 없었다.

일반적으로 두피 뇌파 검사는 간질양 뇌파를 잘못 편재시키거나 불충분한 정보를 제공하므로, 측두엽의 내저 부위에 전극을 삽입하는 FOE를 시행하여 보다 정확한 정보를 얻어낼 수 있다.[18-20] 그러나 본 연구에서 관찰된 발작간 뇌파 소견의 편재화 가치는 오히려 FOE에서 더 저조한 것으로 나타났는데 두피 뇌파에서 발작간 뇌파 소견이 편재화된 경우(80% 이상)에는 92%, FOE에서는 67%가 수술 부위와 일치되었다. 그러므로 FOE의 발작간 간질양 뇌파의 빈도 분석만으로 수술 부위를 판단하기에는 한계가 있다고 하겠다. 이러한 경우에는 발작간 간질양 뇌파의 모양으로 일차적 간질 발현 부위를 판단하는데 도움이 될 것으로 여겨지는데, 실제로 수술 부위에서는 periodic spikes or sharp waves, periodic spikes or sharp waves + fast activities, grouped spikes가, 수술 반대편에서는 polyspikes, positive spike, isolated spikes or sharp waves가 흔히 관찰되었다. 전체적으로 isolated spikes or sharp waves는 양측에서 흔히 관찰되었지만 환자 개개인의 간질 발작을 비교하여 보았을 때는 spikes or sharp waves나 grouped spikes가 수술 부위에서 선행되거나 주파수 (frequency)에서 수술 부위보다 떨어지는 소견이 보여서 양 부위간의 차이가 확연히 관찰되었다. 그러므로 발작간에 나타나는 FOE 뇌파의 모양은 간질 발현 우세 부위를 구분하는데 있어서 중요한 판단적 근거를 제시해 준다고 할 수 있다.

FOE에서 관찰되는 발작중 간질파의 모양은 decrement, high frequency - low amplitude spike discharge, spike-wave or sharp-wave complexes, 5~10㎐ sinusoidal rhythms 순으로, 이중 가장 의의 있는 양상은 high frequency - low amplitude discharge pattern, hypersynchronous seizure onset pattern이고,[6] 이러한 양상이 없을 때는 경련부위의 국소화를 의심해 볼 수 있다고 한다.[3] 국소화된 decrement도 FOE에서 흔히 관찰되지만, 이것은 3~5초내에 high frequency discharge가 뒤따를 때에 의의가 있다고 하며, 이는 stereotactic depth recording에서 관찰되는 편도체 및 해마에서 나오는 high frequency, low amplitude discharge와 관련이 있다고 보고된 바 있다.[4] 본 연구에서 발작중 관찰된 수술 부위 FOE의 PW에서는 fast β와 같이 비교적 빠른 주파수의 간질파나 repetitive spike or sharp waves가 흔히 관찰되었고, FW에서는 θ & δslowing 등과 같이 느린 주파수의 서행파가 흔히 관찰되었다. 특히 이러한 소견은 각각의 간질 발작시의 간질파를 비교할 때 더욱 두드러져 FW는 거의 항상 PW보다 주파수가 낮았다. 또한 수술 반대편의 PW에서만 positive spikes가 관찰되었고, FW에서도 repetitive spike or sharp waves가 관찰되었다. 이와 같이 발작시의 FOE의 모양만으로도 일차적 간질 발현 부위를 알아내는데 도움을 얻을 수 있었다.

발작중 FOE에서 관찰되는 소견 중 일차적 간질 발현 부위와 가장 연관이 있는 간질파의 소견으로는 "start-stop-start" pattern으로 수술 부위와 100%의 일치율을 보였다. 이러한 "start-stop-start" pattern 은 Blume 및 Kaibara등이 경막하 전극에서 처음 보고하였으나,[21] 아직까지 FOE에서는 보고된 적이 없다. 경막하 전극에서 start때 주로 (50회/62회) 관찰되는 간질파의 모양은 rhythmic wave이나, FOE에서는 spikes or sharp waves가 관찰되는 경우가 45.8%나 되어서 커다란 차이가 있었다. 그러나 restart때는 FOE에서 θ & δslowing이 대부분을 차지하여 경막하 전극과 일치하였다. Restart 때 가장 먼저 감지되는 간질파 부위가 수술 부위와는 반대편이거나 전반적으로 나와서 국소화가 되지 않는 경우가 경막하 전극에서는 4%였으나, FOE에서는 75%였다. 이와 같이 FOE에서 restart이후로 나타나는 간질파 모양의 변환과 stop 이후로 처음으로 감지되는 간질파의 위치가 달라질 수 있으므로 "start-stop-start" pattern의 정확한 인식이 중요하고, 이러한 양상을 간과하고서는 일차적 간질

발현 부위의 오판을 유도할 수 있을 것이다. "Start-stop-start" pattern의 기전으로 restart가 동일 부위에서 시작하는지 혹은 다른 부위에서 시작하는지 여부에 따라서 차이가 난다고 주장하였다. 동일부위에서 시작하는 경우는 국소적인 acidic pH shift, 증가된 hyperpolarising K^+ currents, NA^+/K^+-ATPase pump의 활성화, adenosine의 축적 등으로 인하여 간질의 종료가 불완전하게 일어나서 발생된다고 하였고, 다른 부위에서 시작하는 경우는 pyramidal neuron의 large depolarization을 위한 electrical stimulation으로서의 역할 혹은 long-loop reverberating circuit에 의해서 진행되고 있는 간질파가 전극에서 감지되지 않는 것이고 여겨지고 있다.

FOE로서 간질이 전파되는 양상에 관한 정확한 정보를 얻을 수는 없지만,[4] 본 연구에서는 FOE를 통해서 간질의 전파되는 양상 및 그에 따른 일차적 간질 발현 부위를 판단할 수 있었다. 발작중 간질파가 처음 시작되는 부위가 내저측두엽이고, 가장 먼저 해마교련 (hippocampal commissure)를 통해서 전파되고 동측 측두엽, 반대측 측두엽으로 전파되는 것을 알아 낼 수 있었다. 이러한 전파의 방식은 수술부위 및 수술 반대편에서 차이가 없었으나 수술 반대편에서는 동측 및 반대측 측두엽에 동시에 진행되는 횟수가 수술 부위보다 많았다. 또한 간질파가 전파되는데 소요되는 경과 시간에 있어서는 더욱 뚜렷하여서 수술 부위에서 FOE 간격, FOE 및 동측 측두엽, FOE 및 반대측 측두엽 사이의 간격이 각각 16.53초, 23.18초, 24.7초 였으나 수술 반대편에서는 각각 7.92초, 8.92초, 9.08초로 수술 부위에 비해서 간질파의 전파가 더 빨리 진행되는 소견을 관찰할 수 있었다. 이는 이차적 간질 발현 부위인 수술 반대편에서 간질파가 시작될 경우는 임상적으로 간질 발작으로 진행되지 못하고, 반대편인 일차적 간질 발현 부위인 수술 부위로 간질파가 전파되어야 간질 발작이 유발될 수 있기 때문으로 여겨진다. 그러므로, 간질파가 진행되는 양상 및 속도로도 일차적 간질 발현 부위를 판단하는데 도움을 얻을 수 있으리라 생각된다.

결 론

FOE를 넣고 검사한 후에 전측두엽 절제술을 시행한 환자를 대상으로 뇌파 검사를 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. FOE는 부작용이 없는 비침습적 검사로서, 두피 뇌파에서 제공하지 못한 일차적 간질 발현 부위를 정확하게 편측화할 수 있는 검사 방법이다.

2. 발작간 FOE의 일차적 간질 발현 부위에서 우세하게 나타나는 간질양 뇌파는 periodic spikes or sharp waves with/without fast activities, grouped spikes 이며, 이차적 간질 발현 부위에서는 polyspikes, positive spikes, isolated spikes or sharp waves이다.

3. 발작시 FOE의 일차적 간질 발현 부위 PW는 fast β 파, repetitive spikes or sharp waves with/without fast activities가 흔히 관찰되었고, FW에서는 θ & δ slowing이 흔히 관찰되었으며 FW는 거의 항상 PW보다 주파수가 낮았다.

4. FOE에서 관찰되는 "start-stop-start" pattern의 간질파는 일차적 간질 발현 부위를 알아내는데 있어서 확실한 지표를 제공해 준다.

5. 내저 측두엽에서 시작된 간질파는, 가장 먼저 해마교련 (hippocampal commissure)를 통해서 전파되고 동측 측두엽, 반대측 측두엽으로 전파된다.

6. 간질파가 전파되는 시간은 일차적 간질 발현 부위보다 이차적 간질 발현 부위에서 시작될 때 더 빨리 진행되는 소견을 관찰 할 수 있었다.

위와 같이 FOE에서 나타나는 뇌파 소견은 간질 발현 부위를 구분하는 판단적 근거를 제시해 주며, 아울러 간질파가 진행되는 양상도 알 수 있었다.

REFERENCES

1. Wieser HG, Elger CE, Stodieck SRG. The "foament ovale electrode": a new recording method for the preoperative evaluation of patients suffering from mesio-temporal lobe epilepsy. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1985;61:314-22.
2. Sperling MR. Clinical challenges in invasive monitoring in epilepsy surgery. *Epilepsia* 1997;38(suppl.4):6-12.
3. Lee BI, Lee JD, Kim JY, et al. Single photon emission computed tomography EEG relations in temporal lobe epilepsy. *Neurology* 1997;49:981-91.
4. Wieser HG, Morris H. Foramen ovale and Peg electrodes. In: Engel J Jr, Pedley TA, eds. *Epilepsy: a comprehensive textbook.* Philadelphia:Lippincott-Raven, 1998;1707-1717.
5. Engel J Jr., Ojemann GA. The next step. In: Engel J Jr., eds. *Surgical treatment of the epilepsies, 2nd ed.* New York: Raven Press, 1993;319-329.
6. Wieser HG, Engel J Jr., Williamson PD, Babb TL, Gloor P. Surgically remediable temporal lobe syndromes. In: Engel J Jr., eds. *Surgical treatment of the epilepsies, 2nd ed.* New York: Raven Press, 1993:49-63.
7. Wieser HG, Siegal AM. Analysis of foramen ovale electrode recorded seizures and correlation with outcome following amygdalohippocampectomy. *Epilepsia* 1991;32:838-50.
8. Wieser HG, Moser S. Improved multipolar foramen ovale electrode monitoring. *J Epilepsy* 1988;1:13-22.
9. Shih YH, Yiu CH, Huang CI. Role of foramen ovale electrodes in presurgical evaluation of intractable complex partial seizures. *Chung Hua I Hsueh Tsa Chih(Taipei)* 1997; 60:155-60.
10. Wieser HG, Quesney LF, Morris HH III. Foramen ovale and peg electrodes. In: Engel J Jr., ed. *Surgical Treatment of the Epilepsies, 2nd eds.* New York: Raven Press, 1993:331-339.
11. Siegfried J, Wieser HG, Stodieck SRG. Foramen ovale electrodes : a new technique enabling presurgical evaluation of patients with mesiobasal temporal lobe seizures.

Appl Neurophysiol 1985;48:408-417.

12. Wieser HG, Yasargil G. Selective amygdalohippocampectomy and a surgical treatment of mesiobasal limbic epilepsy. *Surg Neurol* 1982;17:445-57.
13. Meglio M, Cioni B, Cruccu G, Inghilleri M. The "foramen ovale electrode": a safe tool to study temporal lobe epilepsy. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1987;66:327-30.
14. Wieser HG. Selective amygdalohippocampectomy: indication, investigative technique and results. In: Symon L, Brihaye J, Guidetti B, Loew F, Miller JD, Nornes H, Pasztor E, Pertuiset B, Yasargil MG, eds. *Advances and Technical Standards in Neurosurgery, Vol. 13.* Vienna: Springer-Verlag, 1986: 39-133.
15. Wyllie E. Intracranial EEG and localization studies. In: Wyllie E, eds. *The treament of epilepsy: principles and practice, 2nd ed.* Pennsylvania:William & Wilkins, 1997: 990-992.
16. Awad I, Assirati JA, Burgess R, Barnett G, Luders H. A new class of electrodes of "intermediate invasiveness": preliminary experience with epidural pegs and foramen ovale electrodes in the mapping of seizure foci. *Neurol Res.* 1991;13:177-183.
17. Schuler P, Neubauer U, Shulemann H, Stefan H. Brainstem lesions in the course of a presurgical re-evaluation by foramen-ovale electrodes in temporal lobe epilepsy. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1993;86:301-2.
18. Holthausen H, Noachtar S, Pannek H, Ebner A, Tuxhorn I. Foramen ovale and epidural peg electrodes. *Acta Neurol Scand(Suppl)* 1994;152:39-43.
19. Wieser HG. Semi-invasive EEG: foramen ovale electrodes. In: Luders H eds. *Epilepsy Surgery.* New York: Raven Press, 1991;361-370.
20. Wieser HG. Stereolectroencephalography and foramen ovale electrode recording. In: Niedermeyer E, Lopes da Silva F, eds. *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields, 3rd ed.* Baltimore: Williams & Wilkins, 1993;679-693.
21. Blume WT, Kaibara M. The start-stop-start phenomenon of subdurally recorded seizures. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1993;86:94-99.